# RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE OCEÁNICO DE EL NIÑO Y LA LLUVIA, EN LA REGIÓN ANDINA CENTRAL DE COLOMBIA

Víctor Hugo Ramírez-Builes* ; Álvaro Jaramillo-Robledo**

## RESUMEN

**RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO R., A. Relación entre el Índice Oceánico de El Niño y la lluvia, en la región andina central de Colombia. Cenicafé 60(2): 161-172. 2009**

La zona andina tiene gran importancia por sus ecosistemas y agroecosistemas que proveen de servicios económicos y ambientales a la zona de mayor densidad de población del país. El Niño, La Niña y la Oscilación del Sur (ENSO) tiene gran influencia en la hidroclimatología de los Andes tropicales de Colombia. Este estudio estima la relación entre las temperaturas superficiales del océano Pacífico (PSST) en la región conocida como El Niño 3.4, medida en el Índice Oceánico de El Niño (ONI) y la lluvia mensual en los Andes centrales de Colombia. Se emplearon series de lluvia histórica mensual de 41 años, para diez estaciones meteorológicas localizadas entre las latitudes 03º 49' N a 05º 58'N, ubicadas a lo largo de las tres cordilleras. Se encontraron relaciones lineales, estadísticamente significativas (P <0,01 y P<0,05) entre las PSST y el ONI para los meses de diciembre, enero, febrero, junio, julio, agosto y septiembre, considerados históricamente como meses de baja precipitación. La cordillera Central es la que mayor número de meses presenta con relaciones lineales significativas entre las PSST y el ONI.

**Palabras clave**: Temperatura superficial del océano Pacífico, ONI, precipitación, series históricas.

## ABSTRACT

The Andean zone has great relevance due to its ecosystems and agroecosystems that provide economic and environmental services to the most populated zone of the country. El Niño, La Niña and the South Oscillation (ENSO) have a prominent influence in the hydro-climatology of the Colombian tropical Andes. This study estimates the relationship between the Pacific Sea Surfaces Temperatures (SSTs) in the region known as El Niño 3,4, measured in the Ocean Niño Index (ONI) and the monthly rainfall in the Colombian Central Andes. Forty-one-year historic monthly rainfall series for ten weather stations located between latitudes 03º 49' N to 05º 58'N, along the three Colombian mountain chains were used. Statistically significant lineal relations (P <0,01 and P<0,05) between PSST and ONI were found for December, January, February, June, July, August and September, which are historically considered as the "dry" months. The Central mountain chain exhibits the greatest number of months with meaningful lineal relationships between PSST and ONI.

**Keywords**: Pacific Sea Surfaces Temperatures, ONI, precipitation, historic series.

* Investigador. Fitotecnia. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia

** Investigador Científico III. Agroclimatología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia

Los cambios en la temperatura del océano Pacífico asociados con El Niño, La Niña y la Oscilación del Sur (ENSO), afectan la hidroclimatología en muchas áreas del planeta, alrededor de una cuarta parte de éste es afectada de manera significativa, especialmente las áreas tropicales y subtropicales[1]. El ENSO en los Andes colombianos tiene diversas implicaciones socioeconómicas, durante la fase cálida de El Niño de 1976/77 y 1992/93, se afectó la generación de energía a partir de fuentes hídricas, al igual que disminuyó la productividad de los cultivos y se incrementaron los incendios forestales; en contraste con la fase fría de La Niña, en la cual la productividad de los cultivos se afecta fuertemente por excesos hídricos, inundaciones, incremento de pérdidas de nutrimentos, por erosión y percolación, entre otras (18).

Uno de los primeros registros que indican la relación entre las temperaturas del Océano Pacífico y la lluvia es el estudio de Walker, durante el período de 1904 a 1937, en el cual relacionó las lluvias de los monzones y las observaciones superficiales remotas; de este trabajo se generaron expresiones para predecir las inundaciones del río Nilo y la lluvia en Australia, indicando además conexiones entre la presión atmosférica y la lluvia alrededor de India, Australia y Java (1). También se conocen relaciones entre las fases del Índice de Oscilación del Sur (IOS) y la lluvia, en diferentes regiones de Australia (29), en Estados Unidos entre la lluvia en invierno y el IOS (16) y en Sri Lanka entre los caudales de los ríos y la fase cálida del ENSO (6).

Para Argentina se estableció una relación entre las anomalías en la precipitación en la región semiárida de La Pampa y el IOS (28). Whitaker *et al.* (32) reportan un 50% de correlación entre las inundaciones del río Ganges en India y la fase fría del ENSO. Lloid y Sauders (15), atribuyen un 30% de la variabilidad de la lluvia al ENSO. Curtis *et al.* (7) relacionan sequías en el Amazonas, Congo y América Central e inundaciones en Argentina, Perú y el Este de África, durante El Niño (6); Berri y Bertossa (4) encontraron una relación entre las anomalías en la precipitación y la temperatura del océano Pacífico sobre varias regiones tropicales y subtropicales. Para Argentina, Almeira y Scian (2) afirman que las relaciones son más intensas entre la región 3 de El Niño y las anomalías de las precipitaciones en el valle del río de La Plata, se han observado al inicio de la primavera, verano y otoño.

Los Andes centrales de Colombia están conformados por tres cadenas montañosas llamadas cordilleras, con altitudes que superan los 5.000 m, con una amplia diversidad en ecosistemas y zonas de vida, incluyendo los glaciares tropicales. Estas cadenas montañosas incluyen los valles de los ríos Cauca y Magdalena, que generan efectos orográficos locales muy fuertes, que inducen una convección profunda que originan altas intensidades de lluvia (17).

Así mismo, la zona andina colombiana es una de las zonas más densamente poblada del país, con 78 habitantes/km$^2$, comparada con 29 habitantes/km$^2$ en el resto del país (5). La agricultura es totalmente dependiente de la cantidad y la distribución de las lluvias. Dentro de los cultivos de la región, el de mayor importancia es el café, que representa en área el 22% del total de la zona cafetera del país, con 878.000 ha y 560.000 agricultores (27).

[1] http://iri.columbia.edu

Otros cultivos que además son importantes para la economía regional y la seguridad alimentaria son el plátano, frutales, maíz y fríjol, que conjuntamente con el café son altamente afectados por el ENSO. Durante las fases de La Niña, la producción de los cultivos disminuye, especialmente asociada con los excesos hídricos y disminución del brillo solar, que inducen la reducción en la fotosíntesis, pérdidas de nutrimentos del suelo por percolación, escorrentía y erosión, y por el incremento en las enfermedades causadas por hongos y bacterias; mientras que El Niño, en las zonas bajas induce estrés hídrico, afectando negativamente la cantidad y la calidad de la producción.

Entre los componentes que influyen en la variabilidad climática de la región andina central de Colombia están el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la corriente de bajo nivel del 'Chocó', los sistemas convectivos de mesoescala y las ondas Tropicales del Este (17, 21). La ZCIT ejerce un fuerte control en la distribución anual de las lluvias (13, 17), cuyo desplazamiento sobre el centro de los Andes de Colombia, produce un ciclo bimodal de precipitación, que permite diferenciar dos períodos de lluvias durante abril a mayo y octubre a noviembre, y dos períodos de menor lluvia de diciembre a marzo y junio a agosto (17); este ciclo hace que la producción de cultivos perennes también sea bimodal. El Niño Oscilación del Sur (ENSO), en ambas fases, afecta la variabilidad interanual del ciclo de lluvias, debido a la influencia de la temperatura superficial del océano Pacífico y a las teleconexiones atmosféricas, las cuales se retroalimentan por las relaciones superficie-atmósfera (20, 22, 23).

La desviación de la temperatura superficial del océano Pacífico es uno de los índices del ENSO, que se emplean para predecir la ocurrencia del fenómeno. Por ejemplo, para Sri Lanka se reportan correlaciones significativas ($r = 0,41$, $p<0,005$) entre el flujo del río Kelani durante abril a septiembre y los índices del ENSO (6). En Colombia se reportan varios trabajos, en donde se muestra la relación entre el ENSO y su impacto en la variabilidad de las lluvias en la zona cafetera (8, 9), en la descarga y flujo de los ríos (21, 30) y en los cambios de la humedad del suelo (19, 22, 24), pero no se han encontrado trabajos que correlacionen los datos de lluvia con las temperaturas superficiales del océano Pacífico.

Este estudio busca realizar una exploración inicial de cómo las temperaturas superficiales del océano Pacífico ecuatorial tienen su influencia sobre la cantidad de lluvia en la zona central de Colombia, y saber si es posible emplear el Índice Oceánico de El Niño para estimar el comportamiento de la precipitación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La información de lluvia mensual se obtuvo de la red climática de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, operada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, para el período 1965 a 2005.

La zona de estudio está localizada en la región centro - occidente de Colombia, conocida como la zona Andina. Los datos de lluvia empleados provienen de estaciones meteorológicas ubicadas entre 03º 49`N a 05º 58`N y 76º 32´W a 74º 25`W, para altitudes entre 1.310 y 2.088 m (Tabla 1).

Las estaciones de Agronomía, Cenicafé, Naranjal y Santágueda (Tabla 1), están ubicadas sobre la cuenca hidrográfica del río Chinchiná, la cual tiene una superficie de 113.000 ha y aproximadamente 550.000 habitantes, con altitudes entre los 780 a

**Tabla 1**. Localización de las estaciones analizadas en el estudio.

| Departamento Estación | Municipio | Latitud Norte ° ' | Longitud Oeste ° ' | Altitud (m) | Cordillera-Vertiente |
|---|---|---|---|---|---|
| **Antioquia** | | | | | |
| El Rosario | Venecia | 05 58 | 75 42 | 1.635 | Central-Occidental |
| **Caldas** | | | | | |
| Cenicafé | Chinchiná | 05 00 | 75 36 | 1.310 | Central-Occidental |
| Naranjal | Chinchiná | 04 58 | 75 39 | 1.381 | Central-Occidental |
| Agronomía | Manizales | 05 03 | 75 30 | 2.088 | Central-Occidental |
| Santa Helena | Marquetalia | 05 19 | 75 00 | 1.395 | Central-Oriental |
| Santágueda | Palestina | 05 04 | 75 40 | 1.026 | Central-Occidental |
| **Cundinamarca** | | | | | |
| Santa Bárbara | Sasaima | 04 56 | 74 25 | 1.478 | Oriental-Occidental |
| **Tolima** | | | | | |
| La Trinidad | Líbano | 04 54 | 75 02 | 1.456 | Central-Oriental |
| **Valle** | | | | | |
| Albán | El Cairo | 04 47 | 76 11 | 1.510 | Occidental-Occidental |
| Julio Fernández | Restrepo | 03 49 | 76 32 | 1.381 | Occidental-Occidental |

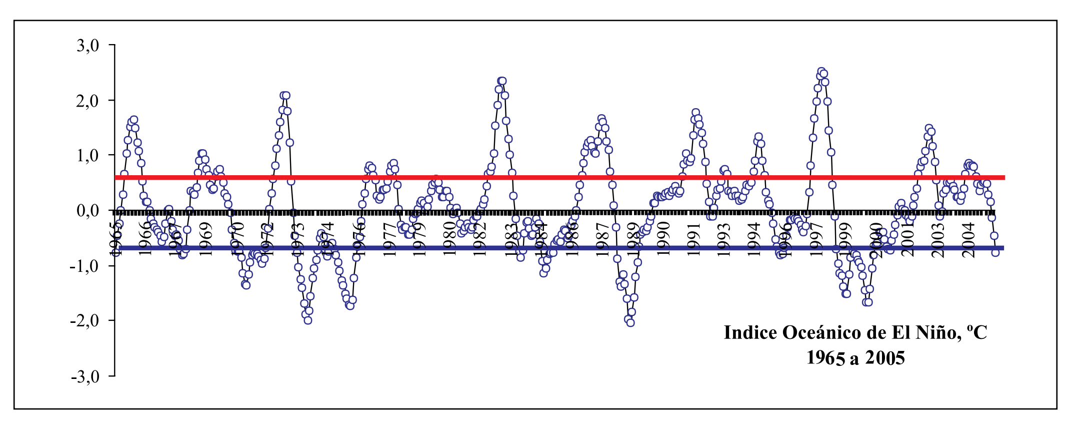



**Figura 1.** Distribución del Índice Oceánico de El Niño - ONI entre 1965 al 2005. Los datos por debajo de la línea azul indican episodios de La Niña, y los datos por encima de la línea roja indican episodios de El Niño.

5.400 m. Es un ecosistema estratégico que proporciona servicios económicos y ambientales a la región y que genera cerca del 70% del producto interno bruto, además de ser una región de alta biodiversidad[2].

**Descripción del Índice Oceánico de El Niño (ONI).** El ONI (su sigla del inglés, Oceanic Niño Index) representa la desviación del promedio de la temperatura superficial del océano Pacífico. La temperatura superficial

[2] http://www.procuenca.com

del océano que se registra en el océano Pacífico ecuatorial (5ºS - 5ºN; 170ºW - 120ºW), se conoce como El Niño 3.4. El Índice Oceánico de El Niño 3.4, es una de las mayores bases de datos que mide el fenómeno climático (30).

El ONI es la principal medida para hacer seguimiento y predecir el ENSO, y se compone de tres fases: El Niño, que se caracteriza por valores positivos del ONI mayores o iguales a +0,5°C, durante tres meses continuos; la Niña, caracterizada por valores negativos del ONI menores o iguales a –0,5°C, durante tres meses continuos; y la fase Neutra que presenta valores del ONI entre –0,5°C y +0,5°C (31).

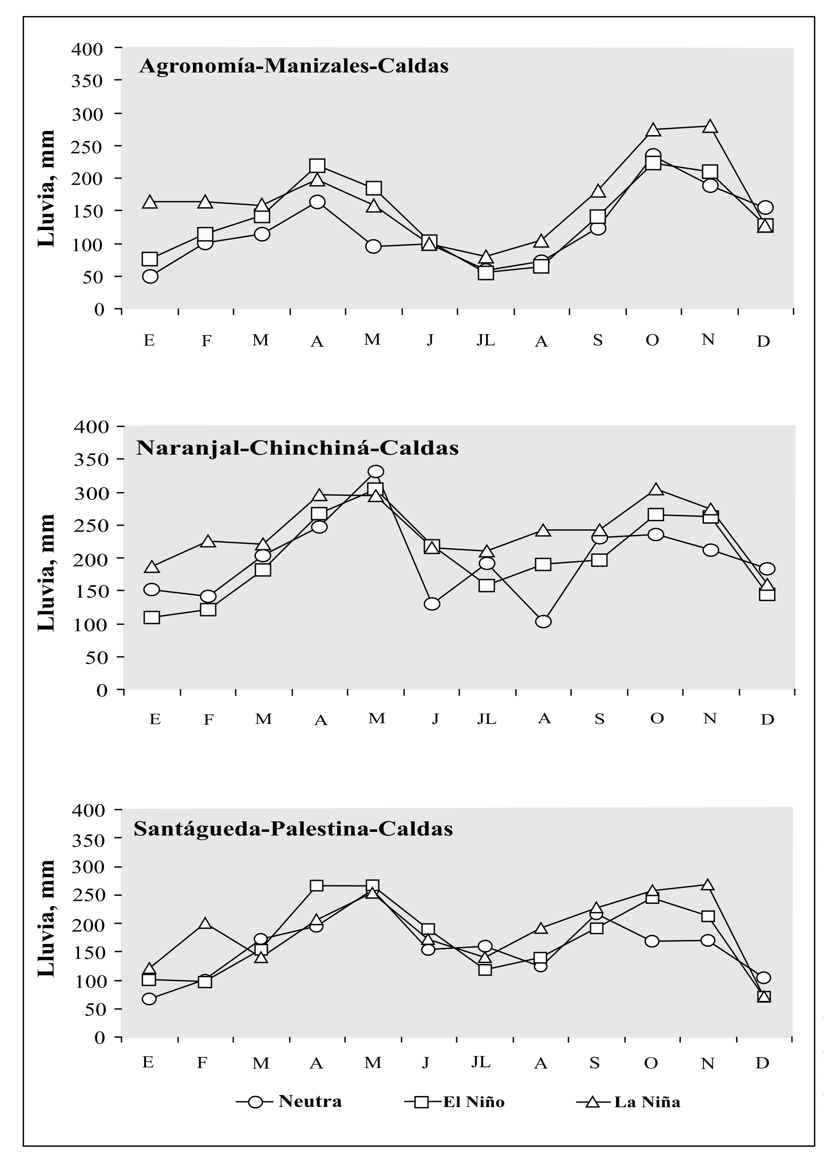



**Figura 2.** Comportamiento de la lluvia en los Andes de Colombia, al 50% de probabilidad bajo la ocurrencia de las fases del ENSO, para estaciones ubicadas en la cordillera Central, -vertiente occidental, para tres altitudes. (Estación Agronomía 2.088 m, Estación Naranjal 1.381m y Estación Santágueda 1.026 m).

**Análisis de los datos**. Se correlacionó información de lluvia mensual para el período 1965 a 2005 (41 años); se aplicaron modelos de regresión lineal simple para cada localidad, estimando los coeficientes de correlación parcial (14). Cada modelo fue evaluado estadísticamente al nivel de significancia del 1% ó 5%, empleando el programa InfoStat (10).

Para el análisis de la lluvia se separaron los meses con eventos de El Niño, con valores de ONI > +0,5°C; los eventos de La Niña con valores de ONI < - 0,5°C y eventos Neutros - 0,5°C < ONI > +0,5 °C. Posteriormente, se calculó el valor de la lluvia a un nivel de probabilidad del 50% mediante la expresión **p =m/n+1**, en donde **p** es lluvia al 50% de probabilidad, **m** es el orden de posición del dato ordenado de mayor a menor, y **n** es el número total de datos analizados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución histórica de la lluvia en la zona andina colombiana tiene una distribución bimodal (Figura 2), con valores máximos entre abril - mayo y octubre - noviembre, los cuales están asociados al paso de la ZCIT. La ocurrencia de la corriente en chorro del 'Chocó' contribuye a las altas precipitaciones que se presentan entre septiembre y noviembre, especialmente entre los 5° y 6° de latitud Norte (12, 21).

La Figura 2 muestra el comportamiento de la distribución bimodal para las dos fases del ENSO (El Niño - La Niña) y condiciones neutrales, para la lluvia histórica (50% de probabilidad). Este análisis muestra que en algunos casos la lluvia bajo presencia del ENSO no es diferente a la que ocurre bajo condiciones neutras en algunos meses, especialmente en marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre, los cuales son considerados como los meses lluviosos en la zona. Para el caso en los meses en donde se registra la menor cantidad de lluvia como diciembre, enero, febrero y junio, julio, agosto, se observan diferencias en los valores históricos de la lluvia asociados al ENSO. Por ejemplo, en agosto, durante La Niña, en la estación de Agronomía (2.088 m) la lluvia histórica es 45% mayor que bajo condiciones Neutras, en la estación Naranjal (1.381 m) es 57% mayor, y en la estación Santágueda (1.026 m) es 35% mayor.

Para propósitos agrícolas, el aumento de las lluvias en los períodos históricamente conocidos de baja lluvia, ocasionan la disminución de la producción en cultivos perennes, asociada básicamente con la baja emisión de flores (3), y las pérdidas de nutrimentos por erosión, escorrentía y percolación, relacionados con los excesos hídricos (8, 11, 25, 26), al igual que un incremento en los niveles de incidencia y severidad de las enfermedades. Durante la fase de El Niño, en las zonas bajas y los valles interandinos, se generan períodos más prolongados de estrés hídrico y, por lo tanto, disminuye la producción (9).

**Relación entre el Índice Oceánico de El Niño (ONI) y la lluvia mensual.** Se observan relaciones estadísticamente significativas (p < 0,005) entre el ONI y la lluvia mensual, especialmente durante los meses de menor lluvia. Para las estaciones Agronomía, Cenicafé, Naranjal y Santágueda, ubicadas en la cordillera Central vertiente occidental, sobre la cuenca hidrográfica del río Chinchiná (Tabla 2), existe una relación lineal entre la lluvia mensual y el ONI, en los meses de diciembre a marzo, julio y agosto, las cuales presentan niveles de significancia entre 1% y 5%. Los mayores coeficientes de correlación parcial (r > -0,40) para estas estaciones se registraron en los meses de diciembre a marzo (Tabla 3).

**Tabla 2.** Relaciones entre el Índice Oceánico de El Niño (ONI, °C) y la distribución de la lluvia (mm/mes) para estaciones ubicadas en la cordillera Central vertiente occidental, de los Andes colombianos. Para la estimación se utilizó la expresión **Lluvia = a + b*ONI.**

| Estación | Altitud (m) | Mes | a | b | $R^2$ | P-valor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Agronomía** | 2.088 | Enero | 119,62 | -36,79 | 0,26 | P<0,0006** |
| | | Febrero | 133,17 | -30,56 | 0,15 | P<0,0116* |
| | | Marzo | 159,10 | -40,28 | 0,17 | P<0,0079** |
| | | Abril | 209,01 | 25,68 | 0,04 | P<0,2121 |
| | | Mayo | 187,18 | 10,97 | 0,01 | P<0,5797 |
| | | Junio | 105,49 | -23,57 | 0,09 | P<0,0599 |
| | | Julio | 76,59 | -24,43 | 0,17 | P<0,0082** |
| | | Agosto | 98,31 | -31,51 | 0,17 | P<0,0071** |
| | | Septiembre | 158,98 | -5,70 | 0,01 | P<0,6559 |
| | | Octubre | 254,83 | -0,30 | 0,00 | P<0,9821 |
| | | Noviembre | 230,97 | -14,81 | 0,05 | P<0,1459 |
| | | Diciembre | 147,11 | -26,58 | 0,22 | P<0,0021** |
| **Naranjal** | 1.381 | Enero | 164,10 | -39,51 | 0,25 | P<0,0008** |
| | | Febrero | 169,98 | -39,06 | 0,25 | P<0,0045** |
| | | Marzo | 211,00 | -46,75 | 0,12 | P<0,0240* |
| | | Abril | 290,83 | -20,03 | 0,03 | P<0,3203 |
| | | Mayo | 301,52 | -12,17 | 0,01 | P<0,5910 |
| | | Junio | 224,46 | -12,44 | 0,01 | P<0,5481 |
| | | Julio | 199,79 | -44,11 | 0,12 | P<0,0244* |
| | | Agosto | 213,96 | -46,02 | 0,13 | P<0,0231* |
| | | Septiembre | 231,18 | -28,09 | 0,12 | P<0,0295* |
| | | Octubre | 290,57 | -1,36 | 0,00 | P<0,9268 |
| | | Noviembre | 281,44 | -12,98 | 0,03 | P<0,2586 |
| | | Diciembre | 174,23 | -29,31 | 0,25 | P<0,0009** |
| **Cenicafé** | 1.310 | Enero | 161,63 | -34,89 | 0,15 | P<0,0136* |
| | | Febrero | 159,20 | -42,89 | 0,23 | P<0,0015** |
| | | Marzo | 205,12 | -55,47 | 0,20 | P<0,0032** |
| | | Abril | 273,88 | -2,05 | 0,0 | P<0,9113 |
| | | Mayo | 262,42 | -28,08 | 0,07 | P<0,1074 |
| | | Junio | 185,34 | -16,09 | 0,03 | P<0,3130 |
| | | Julio | 154,08 | -30,84 | 0,08 | P<0,0788 |
| | | Agosto | 175,56 | -42,38 | 0,16 | P<0,0097** |
| | | Septiembre | 221,50 | -18,42 | 0,05 | P<0,1725 |
| | | Octubre | 290,97 | 12,87 | 0,02 | P<0,3813 |
| | | Noviembre | 258,90 | -14,64 | 0,05 | P<0,1758 |
| | | Diciembre | 173,90 | -36,76 | 0,29 | P<0,0003** |
| **Santágueda** | 1.026 | Enero | 107,80 | -16,82 | 0,11 | P<0,0363* |
| | | Febrero | 126,23 | -35,93 | 0,22 | P<0,0025** |
| | | Marzo | 163,44 | -28,82 | 0,08 | P<0,0764 |
| | | Abril | 245,19 | 15,12 | 0,02 | P<0,4298 |
| | | Mayo | 273,43 | -29,74 | 0,05 | P<0,1701 |
| | | Junio | 187,40 | -12,40 | 0,01 | P<0,5390 |
| | | Julio | 146,55 | -30,47 | 0,10 | P<0,0408* |
| | | Agosto | 160,29 | -27,25 | 0,07 | P<0,1044 |
| | | Septiembre | 208,03 | -28,31 | 0,09 | P<0,0612 |
| | | Octubre | 234,47 | 1,52 | 0,00 | P<0,9013 |
| | | Noviembre | 226,81 | -16,43 | 0,08 | P<0,0676 |
| | | Diciembre | 147,82 | -38,15 | 0,27 | P<0,0005** |

*** Diferencias significativas *nivel de significación del 5%, ** nivel de significación 1% P<0,05 P<0,01, respectivamente para los modelos.

**Tabla 3.** Coeficientes de correlación parcial entre la lluvia mensual y el ONI, para cuatro localidades de la cordillera Central vertiente occidental, de los Andes colombianos.

| Mes | Agronomía | Cenicafé | Naranjal | Santágueda |
|---|---|---|---|---|
| Enero | **-0,52**[1] | **-0,40** | **-0,53** | **-0,33** |
| Febrero | **-0,40** | **-0,52** | **-0,48** | **-0,47** |
| Marzo | **-0,41** | **-0,47** | **-0,40** | -0,30 |
| Abril | 0,25 | -0,01 | -0,15 | 0,11 |
| Mayo | 0,16 | -0,23 | -0,09 | -0,18 |
| Junio | -0,34 | -0,14 | -0,10 | -0,08 |
| Julio | **-0,41** | -0,31 | **-0,39** | **-0,37** |
| Agosto | **-0,42** | **-0,40** | **-0,36** | -0,28 |
| Septiembre | -0,06 | -0,24 | **-0,35** | -0,31 |
| Octubre | 0,01 | 0,16 | -0,02 | 0,04 |
| Noviembre | -0,21 | -0,23 | -0,19 | -0,30 |
| Diciembre | **-0,47** | **-0,54** | **-0,51** | **-0,52** |

[1] Los datos en negrilla, indican los mayores coeficientes de correlación y los meses en los cuales la relación lineal es estadísticamente significativa.

**Tabla 4**. Relaciones entre el Índice Oceánico de El Niño (ONI, °C) y la distribución de la lluvia (mm/mes) en estaciones de los Andes colombianos, ubicadas en diferentes cordilleras y vertientes (Occidental, Central, Oriental). Los datos corresponden a una serie histórica de 41 años (1965-2005) y la expresión para la estimación es **Lluvia = a + b*ONI.**

| Estación Cordillera-vertiente | Altitud (m) | Mes | a | b | $R^2$ | P-valor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **La Trinidad** | 1.456 | Enero | -31,96 | 145,50 | 0,26 | P<0,0025** |
| | | Agosto | -40,20 | 120,12 | 0,19 | P<0,0110* |
| Central-Oriental | | Noviembre | -34,95 | 205,29 | 0,19 | P<0,0103* |
| **El Rosario** | 1.635 | Enero | -37,69 | 95,52 | 0,37 | P<0,0001** |
| Central-Occidental | | Febrero | -24,24 | 98,70 | 0,15 | P<0,0132* |
| | | Junio | -88,99 | 252,64 | 0,24 | P<0,0014** |
| | | Julio | -50,09 | 194,84 | 0,10 | P<0,0492* |
| | | Agosto | -82,97 | 219,07 | 0,32 | P<0,0002** |
| | | Septiembre | -45,36 | 274,03 | 0,17 | P<0,0081** |
| | | Diciembre | -29,85 | 154,07 | 0,20 | P<0,0039** |
| **Julio Fernández** | 1.381 | Enero | -12,67 | 49,79 | 0,14 | P<0,0170* |
| Occidental-Occidental | | Febrero | -14,75 | 68,96 | 0,14 | P<0,0180* |
| | | Junio | -18,32 | 86,70 | 0,11 | P<0,0358* |
| | | Agosto | -23,56 | 69,30 | 0,22 | P<0,0028* |
| **Santa Bárbara** | 1.478 | Agosto | -34,12 | 65,64 | 0,49 | P<0,0016** |
| Oriental-Occidental | | | | | | |
| **Santa Helena** | | Enero | -64,43 | 344,37 | 0,27 | P<0,0081** |
| Central-Oriental | | Junio | -94,67 | 189,01 | 0,33 | P<0,0028** |
| | 1.395 | Agosto | -98,25 | 203,94 | 0,46 | P<0,0002** |
| | | Noviembre | -96,42 | 502,13 | 0,28 | P<0,0062** |
| | | Diciembre | -68,92 | 466,89 | 0,17 | P<0,0378* |
| **Albán** | 1.510 | Enero | -26,59 | 82,85 | 0,30 | P<0,0014* |
| | | Junio | -35,51 | 111,72 | 0,21 | P<0,0098* |
| Occidental-Occidental | | Agosto | -47,53 | 97,68 | 0,67 | P<0,0001** |
| | | Diciembre | -14,40 | 118,20 | 0,13 | P<0,0450* |

*,** Diferencias estadísticas P<0,05 y P<0,01, respectivamente. La significancia está asociada al modelo.

Para las estaciones climatológicas, de manera particular se observa que la estación El Rosario, ubicada en la cordillera Central sobre la vertiente occidental (Tabla 4), presenta el mayor número de meses en los que la lluvia se relaciona linealmente con el ONI (diciembre a febrero y junio a septiembre); mientras la estación con el menor número de meses en los que la lluvia se relaciona estadísticamente con el ONI es Santa Bárbara, localizada en la cordillera Oriental, sobre la vertiente occidental, y solamente en el mes de agosto se observó una relación estadísticamente significativa.

La lluvia en la cordillera Central vertiente occidental, presenta el mayor número de meses con relaciones lineales significativas (P <0,01 y P <0,01) entre lluvia mensual y ONI, en comparación con la cordillera Oriental sobre vertiente occidental, que es aquella que presenta el menor número meses relacionados significativamente.

En todas las localidades analizadas, la lluvia se correlacionó significativamente con el ONI en los meses de menor lluvia, las estaciones que se ubican sobre los 5° de latitud Norte y en la cordillera Central, fueron aquellas en las que la lluvia mensual presentó la mayor correlación con los cambios de temperatura del océano Pacífico. Agosto, es el mes con mayores coeficientes de correlación parcial para todas las estaciones, sin importar la localización (Tabla 5), especialmente para las estaciones: Albán (cordillera Occidental, vertiente occidental) y Santa Bárbara (cordillera Oriental, vertiente occidental).

El evento de El Niño tiene la tendencia a desarrollarse en el período de abril a junio y alcanza su máximo nivel durante el período de diciembre a febrero. De acuerdo con Poveda *et al.* (22), El Niño típicamente se desarrolla sobre el curso de dos años calendario; durante el primero se caracteriza por unas anomalías positivas en las temperaturas del océano Pacífico ecuatorial, que se incrementan durante la primavera y

**Tabla 5**. Coeficientes de correlación parcial para la lluvia y el ONI, para las estaciones meteorológicas ubicadas en diferentes cordilleras y vertientes de la zona andina de Colombia.

| Mes | La Trinidad | El Rosario | Julio Fernández | Santa Helena | Albán | Santa Bárbara |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Enero | -0,23 | **-0,63** | **-0,40** | **-0,52** | **-0,59** | -0,23 |
| Febrero | **-0,54**[1] | **-0,43** | **-0,39** | -0,20 | -0,28 | -0,26 |
| Marzo | -0,09 | -0,26 | 0,09 | -0,23 | 0,07 | -0,48 |
| Abril | 0,15 | 0,28 | 0,18 | 0,35 | -0,12 | 0,26 |
| Mayo | -0,04 | 0,22 | 0,14 | 0,23 | -0,31 | 0,30 |
| Junio | -0,36 | **-0,53** | **-0,31** | **-0,58** | **-0,43** | -0,34 |
| Julio | -0,28 | -0,31 | -0,17 | -0,16 | -0,28 | -0,43 |
| Agosto | **-0,43** | **-0,56** | **-0,47** | **-0,68** | **-0,81** | **-0,71** |
| Septiembre | -0,28 | **-0,43** | -0,20 | -0,10 | -0,02 | -0,40 |
| Octubre | -0,24 | -0,04 | -0,21 | -0,01 | -0,21 | -0,12 |
| Noviembre | **-0,40** | -0,28 | -0,30 | **-0,58** | -0,26 | 0,24 |
| Diciembre | -0,32 | **-0,48** | -0,22 | **-0,41** | **-0,36** | -0,42 |

[1] Los datos en negrilla y subrayados, indican los mayores coeficientes de correlación y los meses en los cuales la relación lineal es estadísticamente significativa.

el otoño del hemisferio Norte, y con las máximas anomalías en las temperaturas superficiales del océano Pacífico durante el invierno del segundo año. Por otra parte, estos autores reportan para Colombia una correlación estacional positiva (0,5-0,6) entre el Índice de Oscilación del Sur (IOS) y la precipitación, especialmente durante el período de diciembre a febrero durante el segundo año y durante el período de junio y agosto del primer año. Tootle *et al.* (30), reportan una correlación positiva entre el caudal de los ríos en Colombia y las temperaturas superficiales del océano Pacífico y la región pacífica cerca de Australia; por otra parte, los caudales de los ríos Cauca y Magdalena, en dicho estudio, fueron los que mayor nivel de correlación presentaron con las temperaturas superficiales del océano Pacífico.

Correlaciones positivas entre las descargas de los ríos cercanos al océano Pacífico y el IOS han sido también documentadas por Poveda *et al.* (22), especialmente para las estaciones localizadas entre las cordilleras Central y Occidental, similares a las correlaciones con la lluvia reportada en este estudio.

Los incrementos en las lluvias durante los meses históricamente conocidos como lluviosos en el segundo semestre del año (septiembre, octubre y noviembre) están relacionados directamente con el regreso de la ZCIT hacia el sur y con el incremento de la corriente de chorro del 'Chocó', como lo reporta Poveda (17); los vientos de la corriente de chorro del 'Chocó' prácticamente no se presentan durante el período de febrero a marzo y tienen su máxima intensidad durante el período de octubre a noviembre (21). Estos dos aspectos macroclimáticos incrementan los contenidos de vapor de agua en la atmósfera en la zona de estudio, lo que puede explicar la ausencia de la relación estadística entre la lluvia y el ONI en los meses lluviosos.

Poveda y Mesa (21), indican que la intensidad de los vientos de la corriente de chorro del 'Chocó' disminuye durante los eventos de El Niño, comparado con los eventos fríos. La mayor variación relativa ocurre durante el período junio, julio y agosto en el primer año.

Se puede concluir que las estaciones meteorológicas ubicadas en la cordillera Central sobre la vertiente occidental, presentan mayor cantidad de meses del año en los cuales la lluvia se correlaciona de una manera estadísticamente significativa con el ONI. El menor número de meses con relaciones estadísticas significativas se presentó en la estación de Santa Bárbara, ubicada en la cordillera Oriental vertiente occidental. Las estaciones más cercanas al océano Pacífico, como las ubicadas en las cordilleras Occidental y la Central, presentaron el mayor número de relaciones estadísticamente significativas y altos coeficientes de correlación. Las zonas del país que presentan mayor influencia sobre los cambios superficiales de temperatura del océano Pacífico son las cordilleras Occidental y Central, especialmente a los 5° de latitud Norte.

En la zona Andina central de Colombia, los meses históricamente conocidos como los de baja precipitación, que no tienen influencia de la ZCIT (diciembre - enero - febrero - junio - julio - agosto) son los meses que muestran una relación estadísticamente y presentaron los mayores coeficientes de correlación entre la lluvia mensual y la temperatura superficial del océano Pacífico representado en el ONI.

El ONI puede ser empleado como una herramienta para conocer el posible impacto del ENSO (El Niño - La Niña) sobre la zona andina central Colombiana durante los meses históricamente conocidos como los de menor lluvia.

## LITERATURA CITADA

1. ALLAN, R.; LINDSEY, J.; PARKER, D. El niño southern oscillation and climate variability. Collingwood Australia: CSIRO, 1996. 405 p.

2. ALMEIRA, G. J.; SCIAN, B. Some atmospheric and oceanic indices as predictors of seasonal rainfall in the Del Plata basin of Argentina. Journal of Hydrology 329:350-359. 2006.

3. ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A. Relación entre la humedad del suelo, la floración y el desarrollo del fruto del cafeto. Chinchiná: Cenicafé, 2003. 8 p. (Avances Técnicos No. 31).

4. BERRI, G.; BERTOSSA, G. I. The influence of the tropical and subtropical Atlantic and Pacific oceans on precipitation variability over Southern Central South America on seasonal time scales. International Journal of Climatology 24:415-435. 2004.

5. CARDER. Ecorregión eje cafetero, un territorio de oportunidades. 2a. ed. Pereira: Corporación autónoma regional de Risaralda, 2004. 345 p.

6. CHANDIMALA, J.; ZUBAIR, L. Predictibility of stream flow and rainfall based on ENSO for water resources management in Sri Lanka. Journal of Hydrology 335:303-312. 2007.

7. CURTIS, S.; ADLER, R.; HUFFMAM, G.; NELKIN, E.; BOLVIN, D. Evolution of tropical and extratropical precipitation anomalies during the 1997-1999 ENSO cycle. Internacional Journal of Climatology 21:961-971. 2001.

8. GUZMÁN M., O.; BALDIÓN R., J. V. El evento cálido del Pacífico en la zona cafetera. Cenicafé 48(3):141-155. 1997.

9. -----. Influencia del evento frío del Pacífico en la zona cafetera colombiana. Cenicafé 50(3):222-237. 1999.

10. INFOSTAT. Software estadístico: Manual del usuario. Córdoba: Grupo InfoStat FCA: Universidad Nacional de Córdoba, 2008. 334 p.

11. JARAMILLO R., A. La lluvia y el transporte de nutrimentos dentro de ecosistemas de bosque y cafetales. Cenicafé 54(2):134-144. 2003.

12. -----. Clima andino y café en Colombia. Chinchiná: Cenicafé, 2005. 192 p.

13. LEÓN G., E.; ZEA, J. A.; ESLAVA, J. A. Circulación general y la zona de convergencia intertropical en Colombia. Meteorología colombiana 1:31-38. 2000.

14. LITTLE, M. T.; HILLS, F. J. Métodos estadísticos para la agricultura. México: Trillas, 1985. 270 p.

15. LLOID, H. B.; SAUDERS, M. Seasonal prediction of european spring precipitation from El niño-southern oscillation and local sea-surface temperatures. International Journal of Climatology 22:1-14. 2002.

16. McCABE, G.; DETTINGER, D. M. Decadal variations in the strength of the ENSO teleconnections with precipitations in the western United States. International Journal of Climatology 19:1399-1410. 1999.

17. POVEDA J., G. La hidroclimatología en Colombia: Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 28(107):201-222. 2004.

18. -----. The global water resource, El niño/south oscillation and his influences in the colombian´s climatology and the global climate change. Medellín: Universidad nacional de Colombia. Facultad de minas, 2007. 10 p. (Tesis: especialista en aprovechamiento de recursos hidraúlicos). Fragmentos de tesis.

19. POVEDA J., G.; JARAMILLO R., A. Enso-related variability of river discharges and soil moisture in Colombia: Biospheric aspects of the hydrologic cycle. International geosphere biosphere program 8:3-6. 2000

20. POVEDA J., G.; MESA O. J. Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale oceanic-atmospheric phenomena. Journal climate 10:2690-2702. 1997.

21. -----. On the existence of Lloró (the rainiest locality on earth): Enhanced ocean–atmosphere–land interaction by a low-level jet. Geophysical Research Letters 27:1675-1678. 2000.

22. POVEDA J., G.; JARAMILLO R., A.; GIL M., M.; QUICENO, N.; MANTILLA R., I. Seasonality in ENSO related precipitation, river discharges, soil moisture and vegetation index (NDVI) in Colombia. Water Resources Research 37:2169-2178. 2001.

23. POVEDA J., G.; MESA O., J.; SALAZAR L., F.; ARIAS P., A.; MORENO, A.; VIEIRA, S.C.; AGUDELO, A.; TORO, V.G.; ÁLVAREZ, J.F. The diurnal cycle of precipitation in the tropical Andes of Colombia. Water Review 133:228-240. 2004.

24. RAMÍREZ B, V.H.; GÓMEZ, O.F. Variaciones en el índice de humedad del suelo asociado a El niño – La niña (ENSO) en Risaralda (Colombia). Investigaciones de Unisarc 3(1):8-16. 2005.

25. RAMÍREZ B, V.H.; JARAMILLO R, A. Distribución de la lluvia en cuatro coberturas vegetales de la zona andina colombiana. Investigaciones de Unisarc 5(1):19-33. 2005.

26. RAMÍREZ B, V.H.; ACEVEDO M, D.M.; OCHOA H., C.; MAHECHA A., M.; GÓMEZ, O.F. Pérdidas de suelo y de nutrientes bajo coberturas de abono verde y cultivos asociados en andisoles. Investigaciones de Unisarc 6(1):1-7. 2008.

27. SALDÍAS B., C.A. La renovación de cafetales y la producción en Colombia. Chinchiná: Cenicafé, 2009. (Seminario científico).

28. SCIAN, B. Evidence about the IOS signal and the rainfall variability in semi-arid pampean region. Meteorologica 35:3-14. 2000.

29. STONE, R.; AULICIEMS, A. SOI phases relationships with rainfall in eastern Australia. International Journal of Climatology 12:625-636. 1992.

30. TOOTLE G., A.; PIECHOTA, T.C.; GUTIÉRREZ, F. The relationships between Pacific and Atlantic ocean sea surface temperature and colombian streamflow variability. Journal Hydrology 349:268-276. 2008.

31. TRENBERTH K., E. The definition of El niño. Bulletin of the American Meteorological Society 78:2771-2777. 1997.

32. WHITAKER W., D.; WASIMI S., A.; ISLAM, S. The El niño southern oscillation and long-range forecasting of the flows in the Ganges. International Journal of Climatology 21:77-87. 2001.